



重庆大学 | 物理学院
COLLEGE OF PHYSICS CHONGQING UNIVERSITY

空间引力波探测器联合观测银河双星前景噪声与参数估计

Subtraction of the confusion foreground and parameter uncertainty of resolvable galactic binaries
on the networks of space-based gravitational-wave detectors

PRD **108**, 124047

吴洁

2024年4月21日



重庆大学 | 物理学院
COLLEGE OF PHYSICS CHONGQING UNIVERSITY

空间引力波探测器联合观测 银河双星的前景噪声与参数估计

01

研究背景

02

研究方法

03

研究结果

04

总结展望

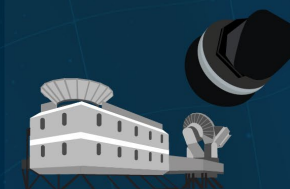
THE SPECTRUM OF GRAVITATIONAL WAVES

Observatories
& experimentsGround-based
experiment

Space-based observatory



Pulsar timing array

Cosmic microwave
background polarisation

Timescales

milliseconds

seconds

hours

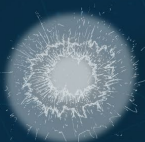
years

billions of years

Frequency (Hz)

100

1

 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-16} Cosmic
sources

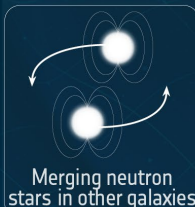
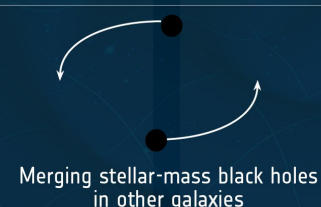
Supernova



Pulsar

Compact object falling
onto a supermassive
black hole

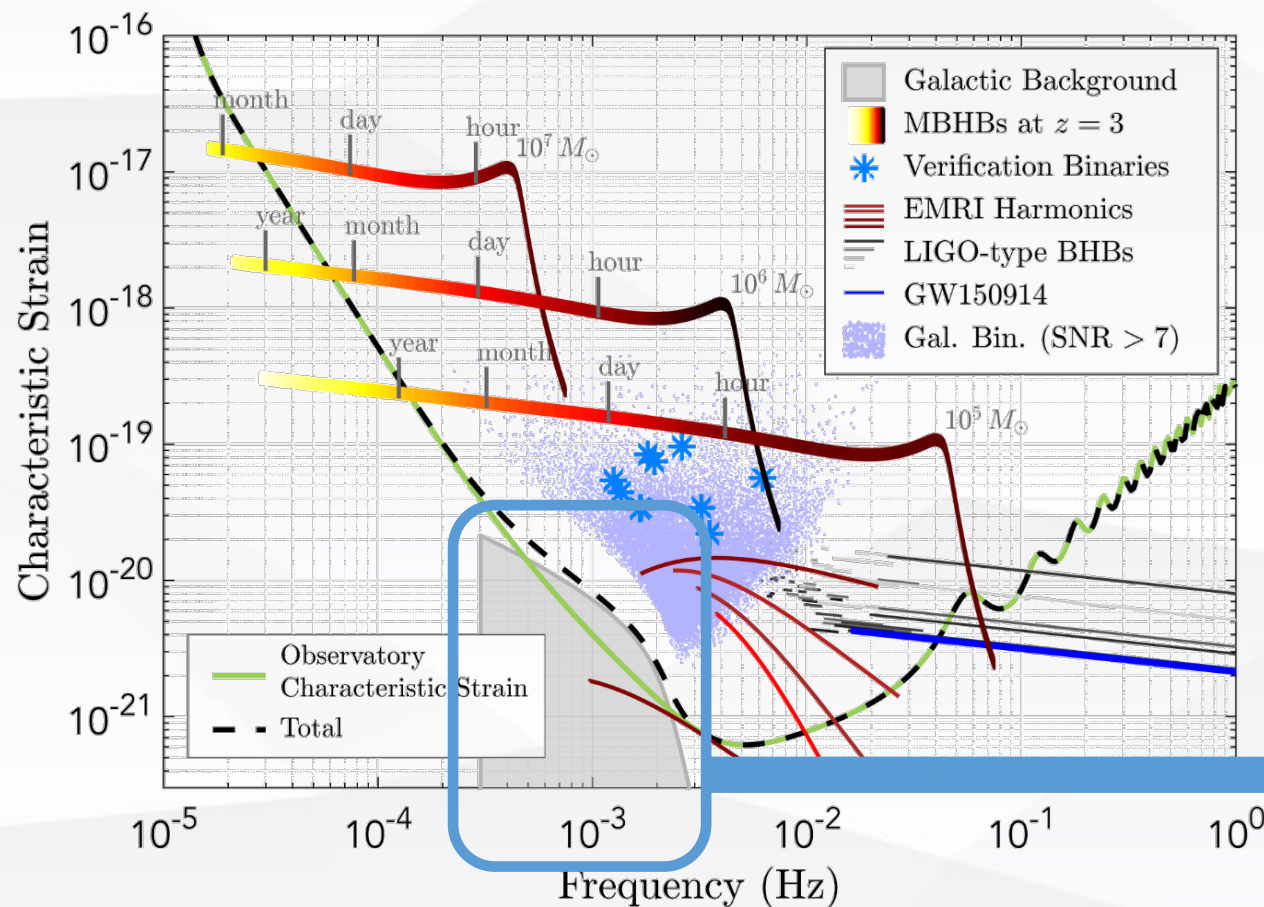
Merging supermassive black holes

Merging neutron
stars in other galaxiesMerging stellar-mass black holes
in other galaxiesMerging white dwarfs
in our Galaxy

银河系内双白矮星

不同频带
引力波

● 空间引力波探测波源



LISA灵敏度曲线 [arXiv:1702.00786]

银河系内双白矮星

不可分辨
($\text{SNR} < 7$)可分辨
($\text{SNR} \geq 7$)

前景噪声

影响灵敏度曲线

- 研究现状

LISA

[J. Phys. Conf. Ser. **840**, 012024(2017)]

太极

[Phys. Rev. D **107**, 064021(2023)]

天琴&LISA

[Phys. Rev. D **102**, 063021(2020)]

太极&LISA

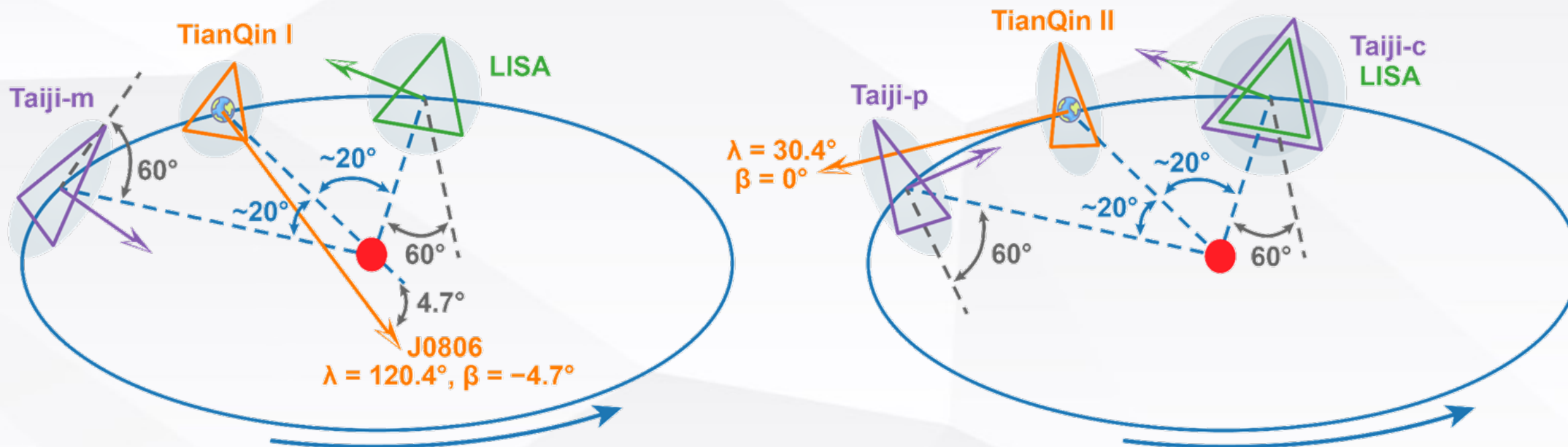
[Phys. Rev. D **106**, 102004(2022)]

均为单个探测器或两个探测器

如何减少前景噪声的影响



● 创新点



LISA、太极和天琴的轨道配置

考虑不同探测器组合
以及可替换轨道配置

LISA

太极 p/c/m

天琴 I / II

- 生成信号

双白矮星目录

使用LISA Data Challenge里1%的数据，即30万个双白矮星

双白矮星波形

准单频信号 $h_+(t) = \mathcal{A}(1 + \cos \iota^2) \cos \Phi(t)$

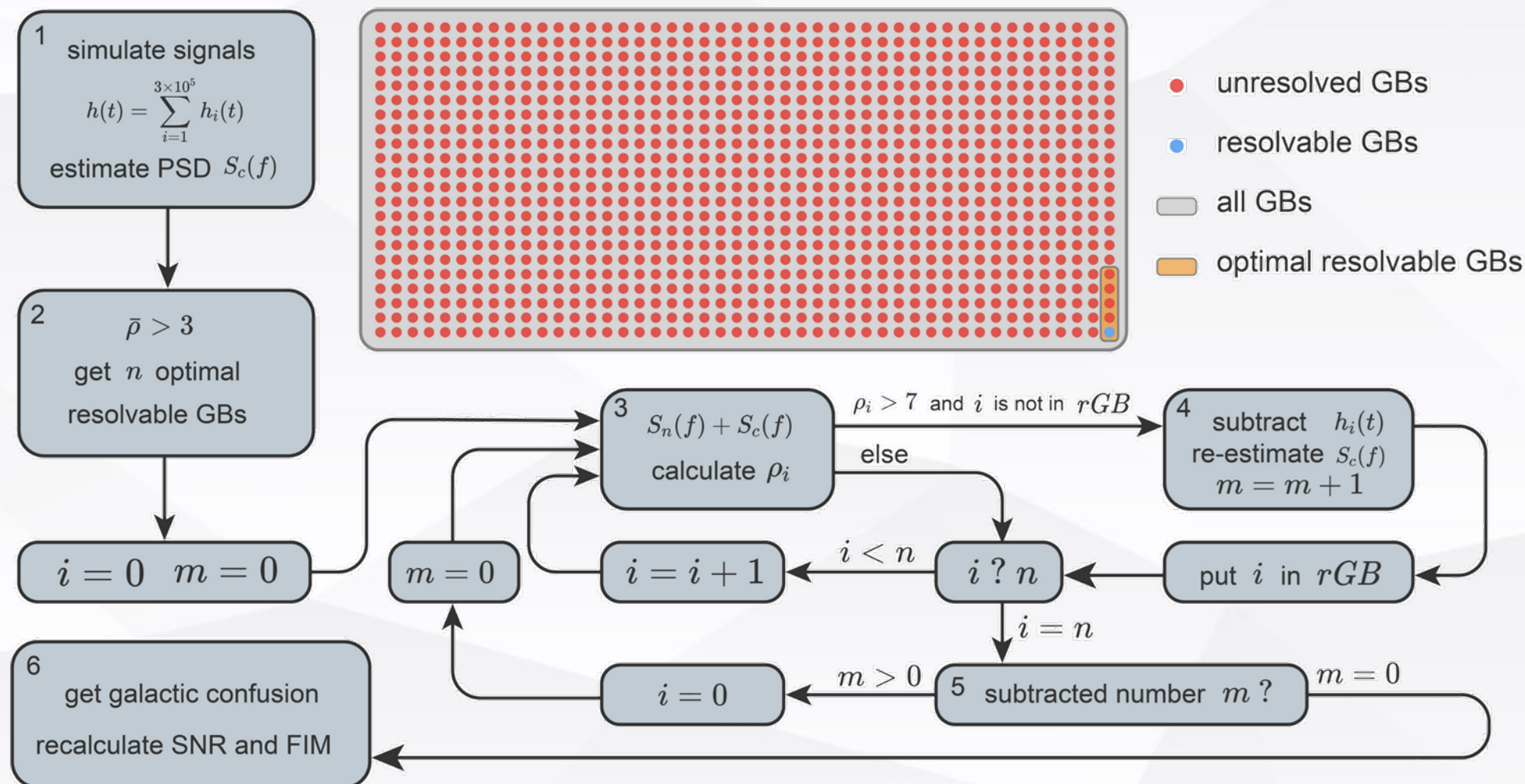
$$h_{\times}(t) = 2\mathcal{A} \cos \iota \sin \Phi(t)$$

考虑绕日运动多普勒效应

$$\Phi(t) = \phi_0 + 2\pi f_0 t + \pi \dot{f}_0 t^2 + \Phi_D(t)$$

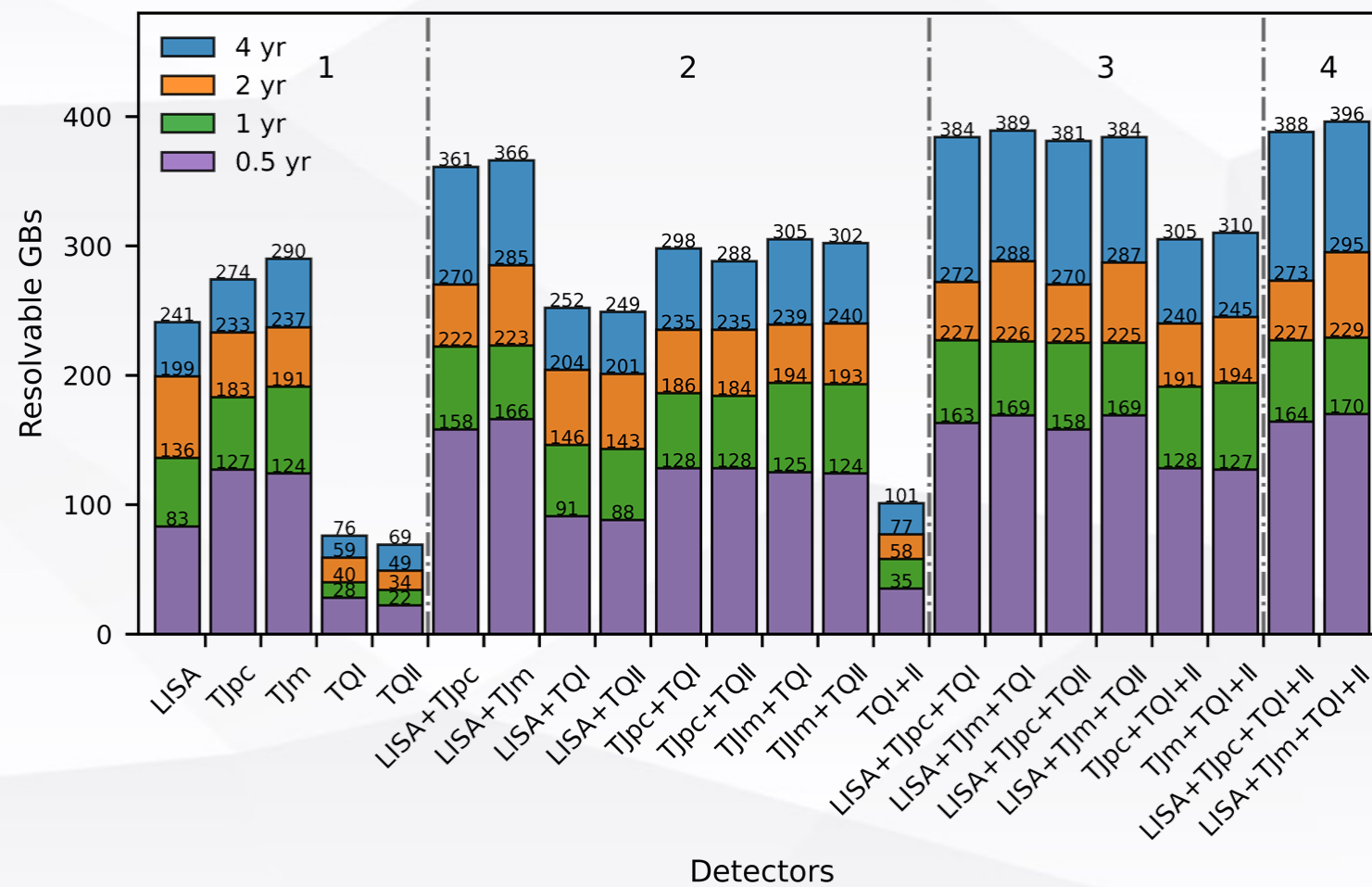
$$\Phi_D(t) = 2\pi f_0 t (R/c) \cos \beta \cos(2\pi f_m t - \lambda)$$

● 迭代法剔除可分辨双白矮星



迭代剔除流程和不同双白矮星占比

● 可分辨双白矮星数量



不同组合下的可分辨双白矮星数量

1. 观测时间

观测时间越长，
可分辨数量越多；

2. 联合数量

探测器数量越多，
可分辨数量越多；

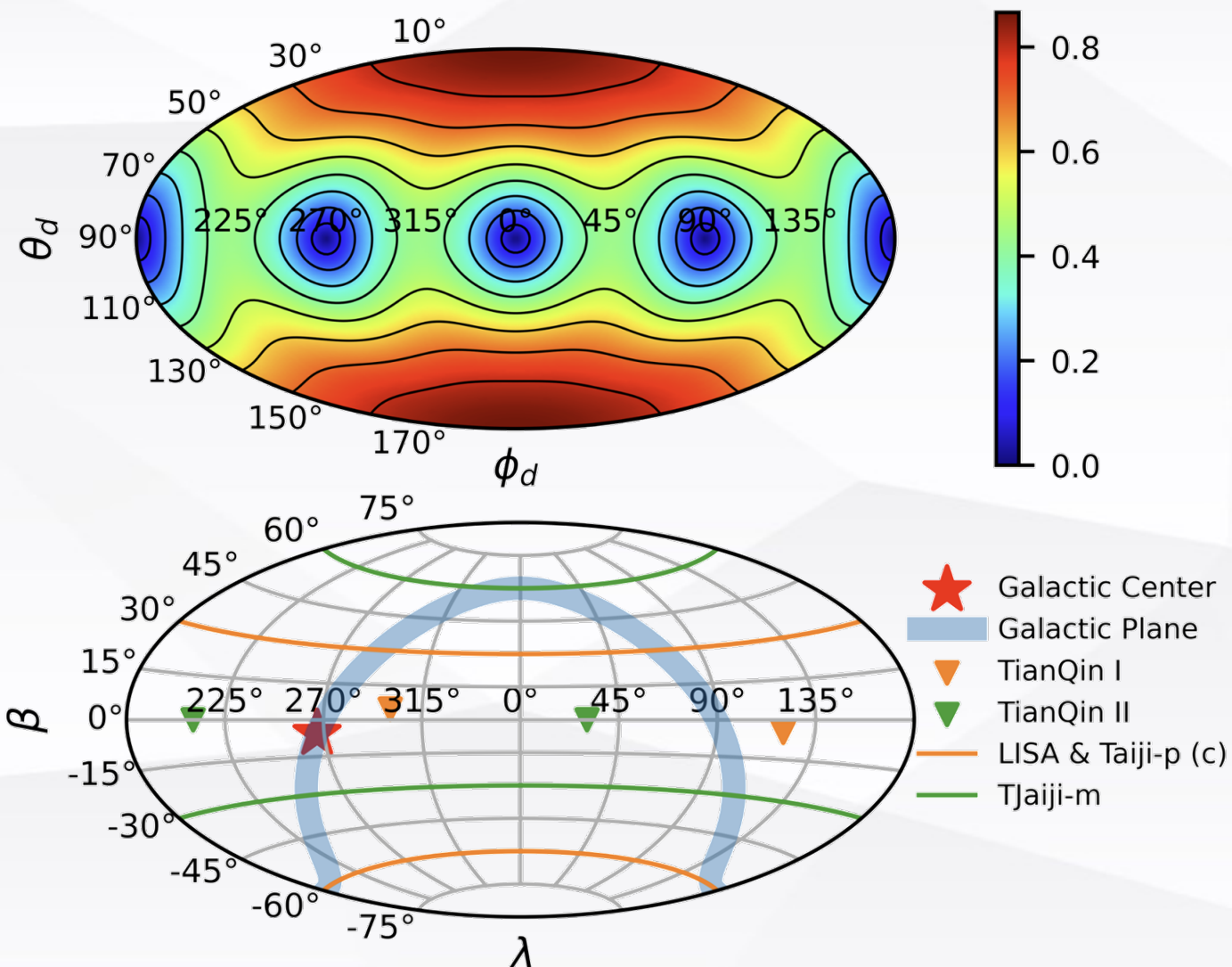
3. 探测器差异

太极-m > 太极-p(c)

> LISA

> 天琴 I > 天琴 II

● 探测器响应与朝向



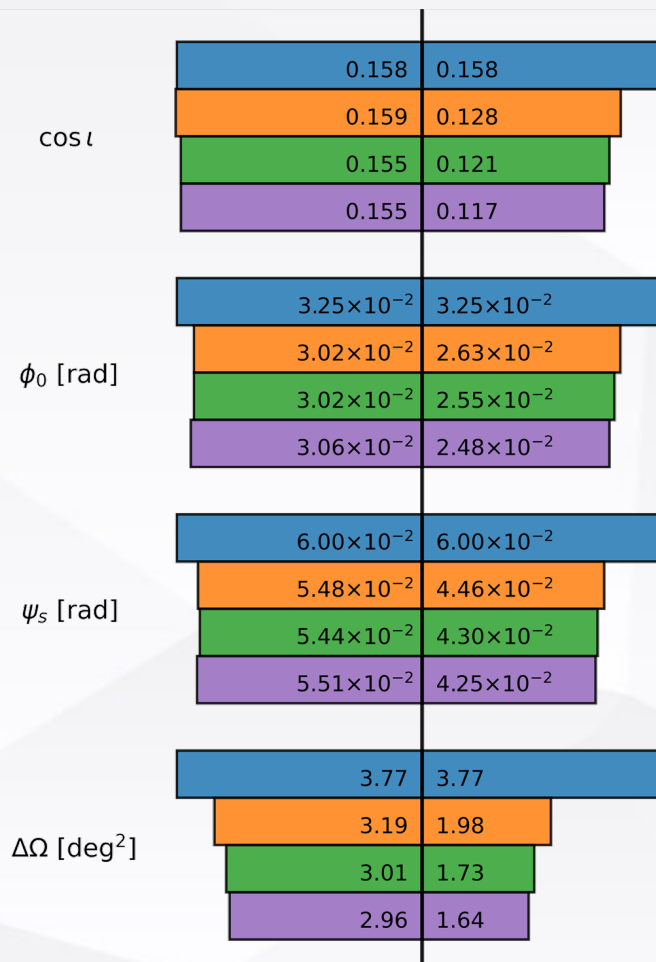
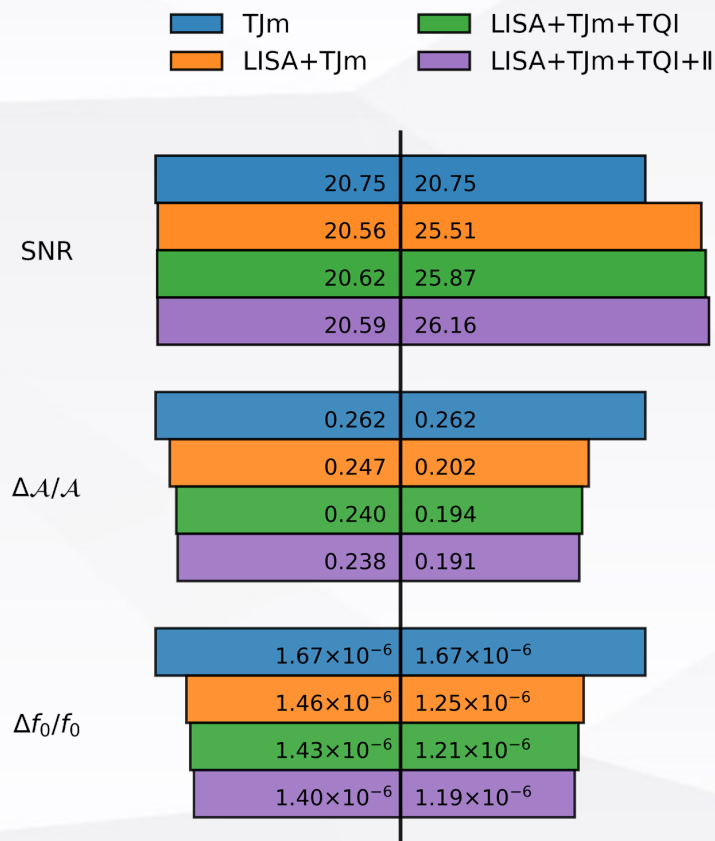
探测器坐标下的响应

南北两极响应最强

探测器平面的法线朝向变化

南北两极响应最强靠近银心的

● 可分辨双白矮星参数情况



1. 相同的双白矮星

探测器越多，SNR越高，不确定度越小

2. 不同探测器组合

个别参数的不确定度在探测器数量增加时有所增加（探测器数量增加，灵敏度提升，使得增加了更多的低SNR双白矮星）

通过FIM计算参数不确定度

黑线左边：不同探测器组合探测到的双白矮星

黑线右边：只考虑太极-m探测到的双白矮星

● 灵敏度曲线

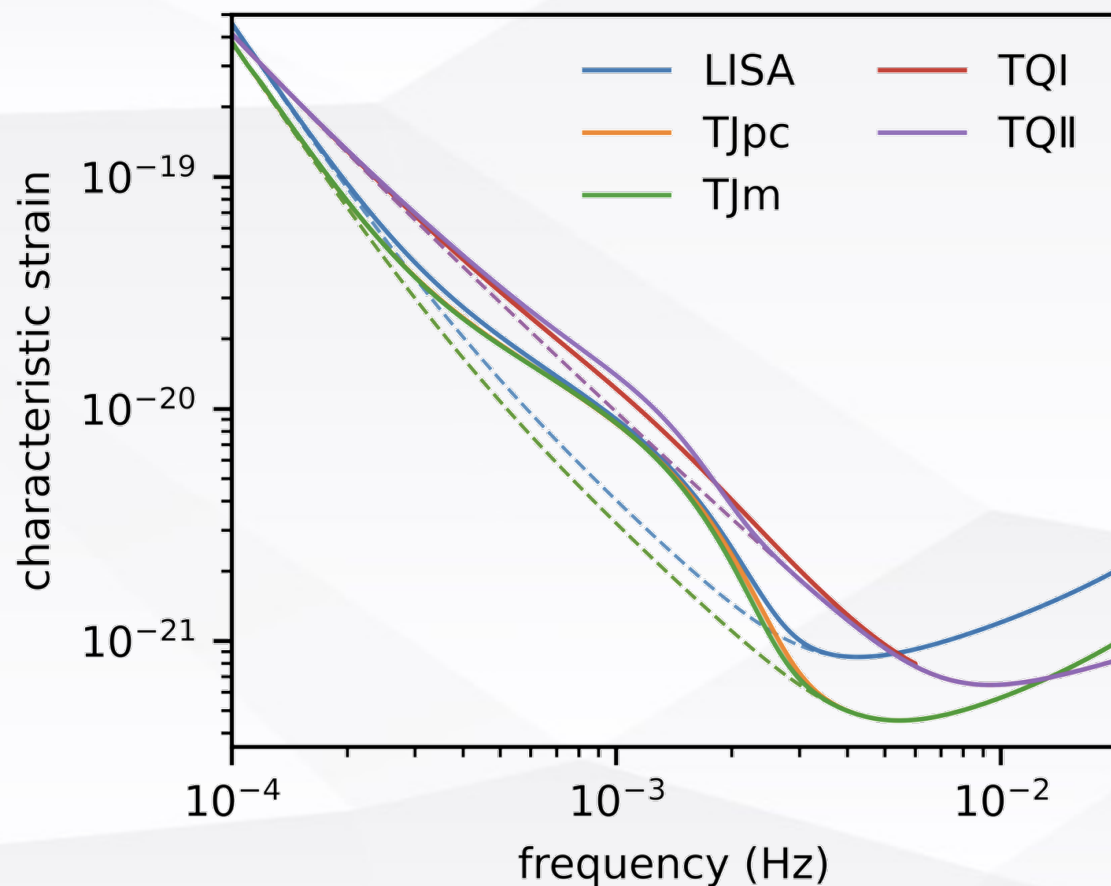
前景噪声拟合

$$S_c(f) = 10^x, \quad x = \sum_{n=0}^5 a_n [\log 10(f/1 \text{ mHz})]^n$$

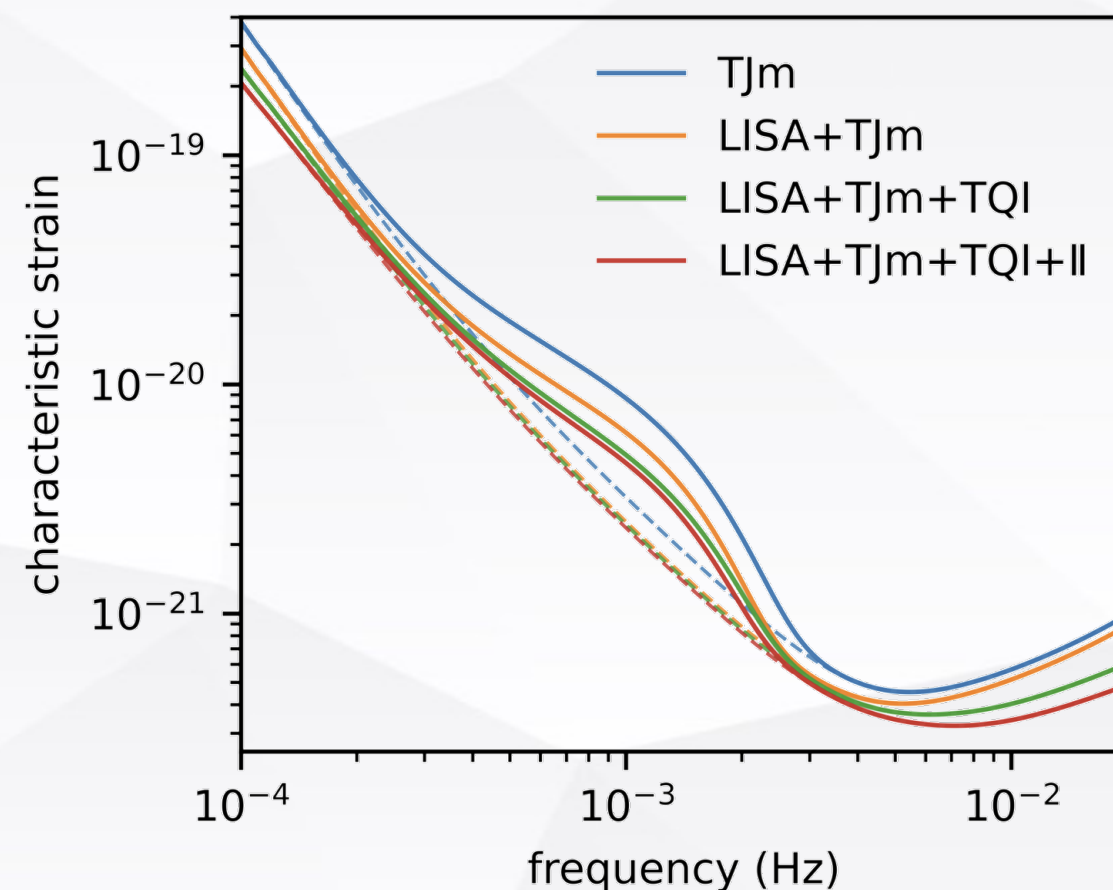
拟合系数

Detector	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
LISA	-37.187	-3.432	-2.753	-5.044	-7.123	-4.120
TJpc	-37.191	-3.443	-2.710	-4.847	-6.871	-4.016
TJm	-37.186	-3.485	-3.273	-5.970	-7.926	-4.785
TQ I	-37.262	-3.465	-2.790	-2.128	1.701	2.734
TQ II	-36.999	-3.177	-4.288	-11.632	-13.272	-4.360
LISA + TJm	-37.502	-3.479	-3.790	-8.853	-12.191	-6.537
LISA + TJm + TQ I	-37.739	-3.472	-3.384	-7.864	-10.962	-5.755
LISA + TJm + TQ I + II	-37.825	-3.505	-4.098	-10.273	-13.655	-6.547

● 灵敏度曲线



单个探测器灵敏度曲线



联合探测灵敏度曲线

- 总结

- 1 研究了不同联合探测组合下前景噪声的情况
- 2 计算SNR和各参数不确定度
- 3 给出拟合后了包含前景噪声的灵敏度曲线

更好地压制前景噪声，有利于提升系统整体灵敏度，特别是0.5~3 mHz部分，这对于探测其它引力波源有着重要的意义！



THANKS

谢谢倾听